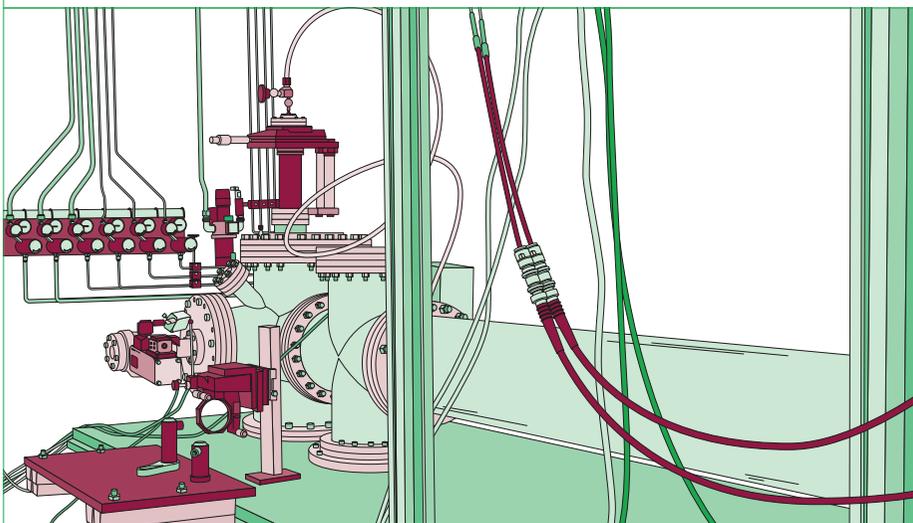




Mots-clefs <b>Laser, Attoseconde, Paratonnerre, Watt, Hologramme</b>	Institut <b>CEA Paris-Saclay</b>	Expert <b>Bertrand Carré</b>
---	-------------------------------------	---------------------------------

Titre  
**ATTOLAB: un scalpel de lumière**



Nom  
**Bertrand Carré**



CEA Paris-Saclay, Université Paris-Saclay

Chercheur au CEA Paris-Saclay/CNRS, Bertrand Carré étudie l'optique non linéaire en phase gazeuse, en particulier la production d'impulsions de lumière de durée attoseconde et leurs applications aux études de dynamiques électroniques et nucléaires ultrarapides dans les atomes et les molécules. Diplômé de l'École polytechnique, il a obtenu son doctorat en Physique à l'Université Paris-Sud. Il coordonne à présent la plateforme ATTOLAB.

La nouvelle plateforme ATTOLAB inaugurée en février 2017 est dédiée à l'étude des phénomènes physiques et physico-chimiques extrêmement brefs. Et les tous premiers résultats ne se font pas attendre.

Une « orfèvrerie optique à très haute cadence ». C'est ainsi que Lionel Poisson, chercheur au Laboratoire Interactions, dynamiques et Lasers (LIDYL, UMR CEA-CNRS), présente la nouvelle plateforme pourvue de sources laser originales, récemment implantée sur un site du CEA Paris-Saclay. Les lasers de cet équipement d'excellence permettent d'étudier des phénomènes extrêmement précis et brefs, comme les mouvements rapides des électrons et des noyaux au cœur de la matière.

Avec cette nouvelle installation, le projet ATTOLAB comprend aujourd'hui trois plateformes expérimentales, implantées au cœur de l'Université Paris-Saclay, et mises en œuvre par le Laboratoire Interactions, Dynamiques et Lasers (LIDYL), le Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA) et le Laboratoire Charles Fabry (LCF). Le projet est encore plus large puisqu'il associe huit organismes et écoles, dont sept membres et partenaires de l'Université Paris-Saclay: CNRS, CEA, UPSud, IOGS, ENSTA ParisTech, École polytechnique et le Synchrotron SOLEIL.

Sur la plateforme inaugurée en février dernier, les lasers fournissent des impulsions lumineuses extrêmement brèves et intenses, aux propriétés temporelles (durée) et spatiales parfaitement contrôlées. Ces impulsions sont obtenues par compression temporelle d'une impulsion laser de quelques femtosecondes ( $10^{-15}$  s). Atteindre des durées extrêmement courtes exige aussi que le laser couvre un très large domaine spectral de l'infrarouge à l'ultraviolet lointain (XUV).

Les impulsions produites permettent de composer des séquences vidéo avec une résolution temporelle inédite, à partir d'une série d'images obtenues par des techniques de « stroboscopie très rapide ». À la frontière des connaissances en physique, des phénomènes extrêmement rapides deviennent ainsi observables et décomposables. Combien de temps se passe-t-il, par exemple, entre le moment où une impulsion de lumière frappe un atome ou une molécule et le moment où cet objet libère en réaction un de ses électrons? Quelques attosecondes. C'est-à-dire quelques milliardièmes de milliardième de seconde, échelle de résolution temporelle enfin accessible grâce aux lasers d'ATTOLAB! Les chercheurs ont observé cette « naissance » d'électron dès

2016. Une telle résolution permettra d'explorer des processus fondamentaux en physique et chimie, débouchant sur des applications en électronique du futur, contrôle de réactions chimiques ou médecine de demain. La plateforme sera ouverte aux propositions d'expériences dès 2018.

Cette plateforme a également permis de nouvelles voies de caractérisation dans les domaines de l'optique physique et des matériaux. Une équipe de membres de l'Université Paris-Saclay a développé une méthode pour générer des « tourbillons optiques » dans le domaine XUV, de durée femtoseconde et avec des propriétés contrôlables. Ces tourbillons correspondent à une structure « en spirale » de la lumière autour de son axe de propagation, comme un tire-bouchon lumineux avec un cœur sombre, là où les ondes lumineuses interfèrent entre elles. Ils permettent de sonder de façon originale molécules chimiques et biologiques.

Au LOA, une autre installation laser délivre des impulsions très brèves mais aussi de très forte intensité, pour sonder les plasmas formés lors de leur interaction avec la matière. Dans une première expérimentale, les chercheurs ont ainsi pu générer des paquets d'électrons d'une durée inférieure à la femtoseconde, dans un système de taille réduite. L'imagerie ultrarapide et la génération de rayons X ultracourts font partie des applications prévues.

Le consortium ATTOLAB étudie aussi le transport des électrons dans des matériaux semi-conducteurs excités par laser. Dans ces matériaux, les électrons se redistribuent ultra rapidement entre plusieurs états instables, avant de se stabiliser dans un état d'équilibre. Les chercheurs ont enfin pu observer ces états intermédiaires instables, jusque-là inaccessibles par les méthodes classiques. Ils ont montré qu'une manipulation optique de ces systèmes est possible, permettant un contrôle ultra rapide de la conductivité du matériau.

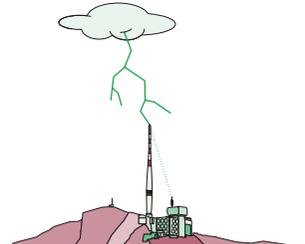
Pour manipuler les impulsions lumineuses d'ATTOLAB, notamment dans le domaine XUV, les chercheurs utilisent des miroirs fabriqués au LCF. Les miroirs XUV nécessitent en effet des traitements particuliers, un polissage ultra-précis et des revêtements spéciaux. Formés d'un empilement de couches très fines, ces miroirs « multicouches » optimisent la réflexion de la lumière XUV, un peu à l'inverse des revêtements antireflets des lunettes commerciales. Sans cela, les flashes de lumière, très brefs, seraient détruits à la première réflexion et deviendraient inutilisables.

ATTOLAB fédère ainsi science fondamentale et techniques avancées. Un savoir-faire unique, de nombreux physiciens utilisateurs, des outils de pointe et une étroite collaboration avec le monde industriel (notamment Thales et Amplitude Technologies, deux leaders du marché des technologies attosecondes) doivent mener la réussite d'ATTOLAB au meilleur niveau mondial.

**Publications**

- V. Gruson et al. Attosecond dynamics through a Fano resonance: Monitoring the birth of a photoelectron. *Science* 354, 734 (2016)
- R. Gêneaux et al. Synthesis and characterization of attosecond light vortices in the extreme ultraviolet. *Nature Communications* 7, 12583 (2016)
- D. Guénot et al. Relativistic electron beams driven by kHz single-cycle light pulses. *Nature Photonics* 11, 293 (2017)
- G. Lantz et al. Ultrafast evolution and transient phases of a prototype out-of-equilibrium Mott-Hubbard material. *Nature Communications* 8, 13917 (2017)

focus  
**Le paratonnerre du futur**



Les protections contre la foudre sont traditionnellement fondées sur l'utilisation de métal. Pour améliorer leur portée, le projet européen "Laser Lightning Rod" construit un paratonnerre révolutionnaire avec des technologies laser de pointe. Des décharges de foudre montantes, initiées grâce à un puissant laser, déchargeront les nuages. Développé par un consortium piloté par le CNRS, l'ENSTA ParisTech et l'École polytechnique, ce système pourrait être facilement déployé pour protéger des installations fragiles comme les centrales électriques ou les aéroports.

**Publication** · B. Prade et al. Transfer of microwave energy along a filament plasma column in air. *Applied Physics B* 123, 40 (2017)

<llr-fet.eu>

focus  
**APOLLON: c'est pour bientôt**



© CILEX/CEA/M. Bougeard

La source laser APOLLON fournira des impulsions laser ultra courtes (15 fs) et ultra intenses, correspondant à une puissance record de 10 PW. L'installation devrait ouvrir ses portes aux premiers utilisateurs dès 2018. Actuellement, la plupart des composants optiques sont dans leur dernière phase de réception, livrés ou déjà en place et les premiers tests montrent que l'énergie lumineuse nécessaire à l'obtention de 1 PW est déjà disponible. APOLLON permettra d'explorer de nouvelles propriétés de la matière et d'étudier l'interaction lumière-matière à des intensités extrêmes.

**Publication** · D. Papadopoulos et al. (2016). The Apollon 10 PW laser: Experimental and theoretical investigation of the temporal characteristics. *High Power Laser Science and Engineering*, 4.

focus  
**Des hologrammes plasma**

L'optique à ultra-haute intensité pourrait reposer sur l'utilisation de plasma structurés. Une équipe du CEA Paris-Saclay et du CNRS a utilisé une méthode holographique pour manipuler et mettre en forme une impulsion laser ultra-intense à l'aide d'un plasma structuré. Ce dernier a été créé en modulant spatialement l'intensité d'une impulsion laser de faible énergie envoyée sur une surface solide plane avant l'impulsion principale. Cette technique présente l'avantage de pouvoir soutenir des intensités considérables sans nécessiter des optiques classiques de grandes tailles.

**Publication** · A. Leblanc et al. Plasma holograms for ultrahigh-intensity optics. *Nature Physics* 13, 440-443 (2017)